Inrush-Limiter® T1

Transformer inrush current limiter

安全に関するご注意

正しく安全にお使いいただくため、
ご使用の前に「取扱説明書」を必ずお読みください。

◆本書からの無断転載は固くお断りいたします。
◆仕様等はお断りなしに変更する場合もありますのでご了承ください。

詳細仕様などのお問い合わせは、最寄りの弊社営業担当へご連絡ください。

株式会社 興電舎　http://www.kodensya.co.jp　E-mail:info@kodensya.co.jp

本　　社 ：	〒882-0862 宮崎県延岡市浜町222番地1	TEL 0982-33-3602	FAX 0982-33-3684
宮 崎 支 店 ：	〒880-0212 宮崎県宮崎市佐土原町下那珂字下ノ山2940番地63	TEL 0985-62-7272	FAX 0985-62-7273
日南事業所 ：	〒887-0015 宮崎県日南市大字平野1120-16	TEL 0987-24-0326	FAX 0987-24-0609
大分事業所 ：	〒870-0324 大分県大分市久原北6番地25号	TEL 097-593-5012	FAX 097-593-5026
福岡営業所 ：	〒812-0881 福岡県福岡市博多区井相田2丁目10番28号 オフィスパレア井相田Ⅱ B棟1号室	TEL 092-588-7080	FAX 092-588-7082

PA003-1405
©2013-2014 Kodensya.,Co.Ltd.　興電舎およびKDSマークは株式会社興電舎の登録商標です。

街とともに歩む 技術・創造・挑戦の

株式会社 興電舎

Kodensya, making progress with our city through "Technology, Creation, and Challenges"

Inrush-Limiter T1
変圧器励磁突入電流抑制装置

受変電用変圧器の課電開始時に発生する励磁突入電流現象による様々な障害を解消する装置を提供します。

弊社は、長年未解決なままで顧みられなかった
励磁突入電流の問題を一挙に解決する技術を実現しました。

Inrush-Limiter® T1
Transformer inrush current limiter

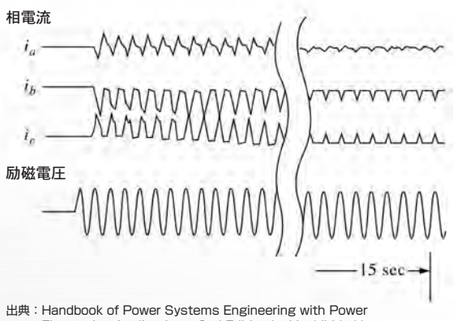
Inrush-Limiter® は、株式会社 興電舎の登録商標です。
Inrush-Limiter は、インラッシュリミッターと読みます。

励磁突入電流現象とは

励磁突入電流現象は、変圧器課電開始時に発生する電圧低下・電流不平衡・波形歪を伴う過渡的現象で、数秒・数十秒間、時には数分間に及ぶほどその継続時間が長く、また近傍の広範な負荷系一帯（公共施設・工場・一般需要家設備など）の動力系、制御系、保護系統に様々な障害をもたらします。

これらは、モーター動力システムの変調（脈動・異常加熱など）、電子機器の不具合、制御装置・保護リレー装置の誤作動、ノーヒューズブレーカーの自動トリップ等の事象を伴うために放置すれば深刻な問題となります。

変圧器課電時の励磁突入電流波形　図 1-1



出典：Handbook of Power Systems Engineering with Power Electronics Applications, 2nd Edition by Yoshihide Hase

励磁突入電流現象による障害事例

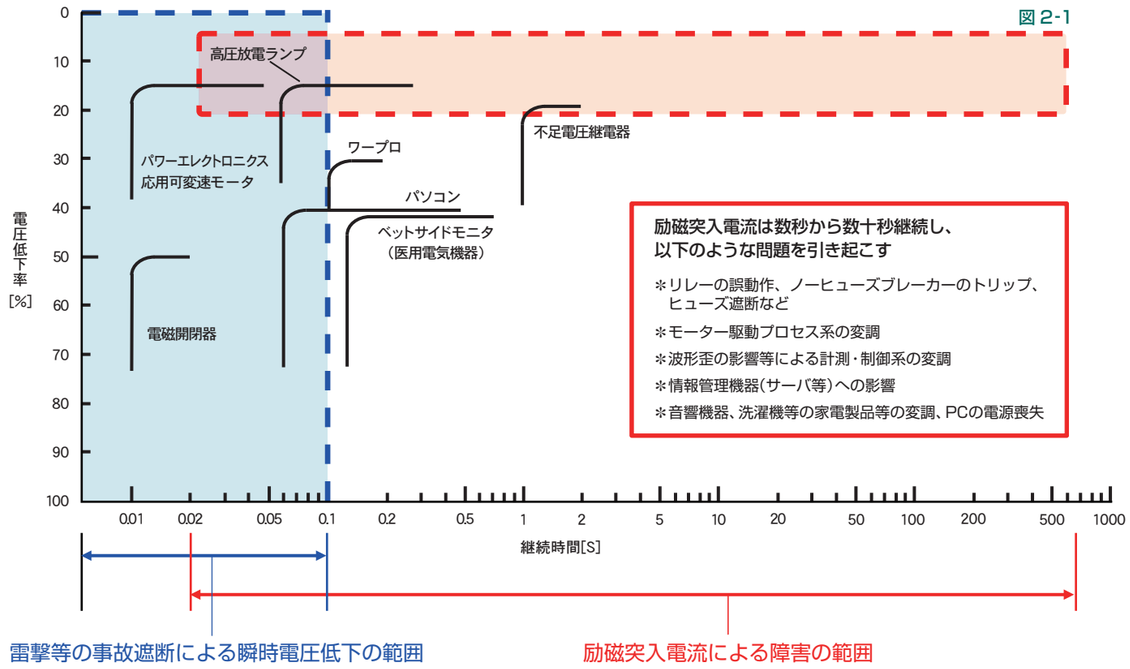
励磁突入電流現象は変圧器の課電開始直後に５～20％程度の電圧低下・三相不平衡の極端な歪電流が長い時間続く過渡現象です。

図 2-1は、励磁突入電流現象に伴う電圧低下量（%）の大きさと継続時間をグラフ化したものです。図に示すように同現象の一般的概念は電圧低下率５～20%、継続時間0.5秒～1分程度であり、またこの間の電流は三相不平衡な尖頭波形の歪電流となり、下記の特徴があります。

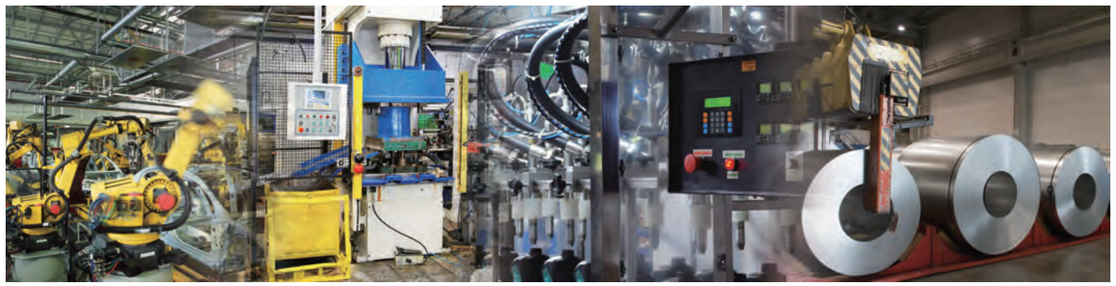
① 商用周波数現象なのでその減衰が遅く、継続時間が断然長い
② 電圧の低下・電流の歪が共に問題となる
③ 変圧器課電開始時の現象なので変圧器の開閉操作の度毎に生じ、その発生頻度が断然多い
④ 商用周波数現象なので現象が付近一帯の広範囲な負荷系に及ぶ

図では雷撃等の事故遮断時に発生する瞬時電圧低下現象の該当範囲（継続時間は通常100ms以内、図の左枠の範囲）を併記しております。両者の対比では励磁突入電流現象の方が電圧低下率は小さいものの①②③④のすべての点で事故遮断による瞬時電圧低下現象よりはるかに深刻なものとなります。

図 2-1



出典：本図は{「瞬時電圧低下対策の最近の動きについて」（社）日本電気技術者協会ホームページ}に記載のグラフへ加筆して作成しております。



写真は障害が及ぶ場所をイメージしたものです。

Inrush-Limiter T1

変圧器励磁突入電流抑制装置

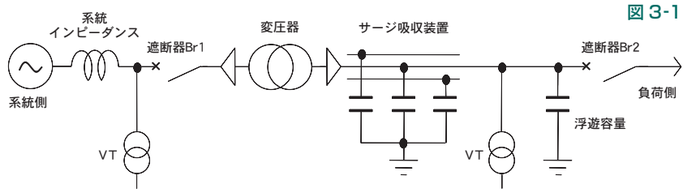
励磁突入電流発生のメカニズムとその抑制のためのアルゴリズム

変圧器の励磁突入電流の原因となる残留磁束とは変圧器の解列瞬時の鉄心内磁束ではありません。

一般に、変圧器の2次側（負荷側）開放で励磁課電中の変圧器を１次側（高圧側）遮断器の開操作で解列する時、その遮断直後は、変圧器鉄心・コイルおよび2次側につながる外部回路で構成される閉回路により過渡現象が短時間継続します。その過渡現象継続時間中は各相鉄心の磁束も変化します。したがって、真の残留磁束とはその過渡現象終了時点の磁束であるということになり、その大きさ・極性は遮断瞬時の磁束値とは異なります。

図3-1において、遮断器（Br1）開操作により変圧器を解列した直後もその２次巻線側には微小負荷（サージ吸収器・浮遊容量等の微小負荷回路）による閉回路が存在します。その閉回路に解列直後に生ずる電圧・電流・磁束の過渡現象は、次のa.およびb.の条件が成り立つので三相平衡過渡現象であるとみなすことができます。

図 3-1



a. 遮断器開操作の直前直後において変圧器およびその１次側回路（系統側）・２次側回路（サージ吸収器・浮遊容量等の微小負荷回路）は三相平衡である。

b. 遮断器開操作直前の電流は微小な変圧器励磁電流（通常1A以下）であるので遮断器は開操作によって各相同時のチョッピング遮断となり、各相の遮断時間差が 生じない（負荷電流 / 故障電流遮断の場合のような電流ゼロ点遮断に伴う遮断タイミングの各相時間差を生じない）。

したがって、遮断器開操作による三相同時電流遮断瞬時（t_{opO}）に始まる過渡現象は三相平衡過渡現象であり、その終息時点（t_{op1}）で電圧は三相同時にゼロ値に達し、また同じタイミングで鉄心内磁束は三相平衡の残留磁束となります。換言すれば、変圧器鉄心に残る真の残留磁束は三相過渡電圧がゼロに至るタイミング t_{op1} で一定値に達する鉄心内磁束であり、またその大きさは三相平衡（磁束ベクトルとして正三角形）であるということになります。

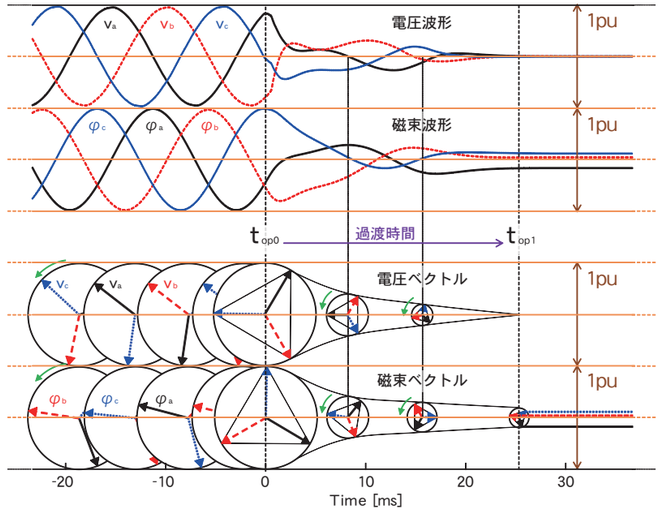
a. 残留磁束の様相（弊社独自の理論展開）

弊社がフィールド試験で得た試験結果の一部を図3-2に示します。

図の上段において、電圧波形 v_a, v_b, v_c は変圧器２次側巻線側のＶＴ出力波形であり、またそれをデジタルサンプリング手法により時間積分して得た鉄心内磁束の波形 φ_a, φ_b, φ_c をも示しています。電圧波形、磁束波形ともに三相平衡過渡現象の様相を示しているので、両者とも三相ベクトルが正三角形を保持しつつ時間的に回転していると理解することができ、その様子を下段に併記しています。時間 t_{opO}（ラジアン表示では θ_{opO}）に始まる過渡時間帯において、電圧波形ベクトルは２次側閉回路の自由振動角速度で回転しつつ縮小し、時間 t_{op1}（ラジアン表示では θ_{op1}）で三相同時にゼロ値に達して消滅します。また磁束波形ベクトルは（電圧の積分値なので）電圧の減衰に伴ってその回転速度を減じつつ電圧消滅と同一時点 t_{op1} にて静止して一定値となります。この時点の三相平衡磁束が真の残留磁束 $\varphi_a(t_{op1})$, $\varphi_b(t_{op1})$, $\varphi_c(t_{op1})$（ラジアン表示では $\varphi_a(\theta_{op1})$, $\varphi_b(\theta_{op1})$, $\varphi_c(\theta_{op1})$）となります。

変圧器解列直後の過渡時間帯における
電圧波形・鉄心内磁束波形とそのベクトル表示

図 3-2



b. 励磁突入電流抑制のアルゴリズム（弊社特許方式）

変圧器解列時の真の残留磁束は既に述べたように三相ベクトル表示では正三角形で表される磁束となります。

また、解列中の変圧器が遮断器（Br1）閉操作により再課電されるとき、変圧器鉄心には三相平衡の初期励磁磁束 $\varphi_a(t_{cl})$, $\varphi_b(t_{cl})$, $\varphi_c(t_{cl})$（ラジアン表示では $\varphi_a(\theta_{cl})$, $\varphi_b(\theta_{cl})$, $\varphi_c(\theta_{cl})$）が生成されますが、系統電圧が三相平衡なので初期励磁磁束もまた三相平衡であり、したがって三相ベクトル表示では正三角形であらわされる磁束となります。そして、真の残留磁束 $\varphi_a(\theta_{op1})$, $\varphi_b(\theta_{op1})$, $\varphi_c(\theta_{op1})$ と初期励磁磁束 $\varphi_a(\theta_{cl})$, $\varphi_b(\theta_{cl})$, $\varphi_c(\theta_{cl})$ のスカラー差 $\Delta\Phi_a$, $\Delta\Phi_b$, $\Delta\Phi_c$ が大きくて鉄心の飽和レベルを超す相があれば過大な突入電流が発生いたします。また逆にそのスカラー差が各相ともに極小になるように遮断器の投入位相タイミング制御を行えば効果的な励磁突入電流抑制が実現できます。

図4-1は弊社が模擬送電設備により多数回実験を試みた試験結果を示しています。

真の残留磁束のベクトル三角形の位相角タイミング（横軸）に対して遮断器投入位相角タイミング（縦軸）が一致する場合に励磁突入電流が最少になり、また両者が逆位相になる場合に最大になることを示しています。

また、同様に多数回実験の結果を3次元可視化したものを図4-2に示します。Z 軸は励磁突入電流の大きさを表し、その値が最も小さい谷底領域が最適投入位相角タイミングであることが示されています。

模擬送電設備による実験結果プロット図

図 4-1

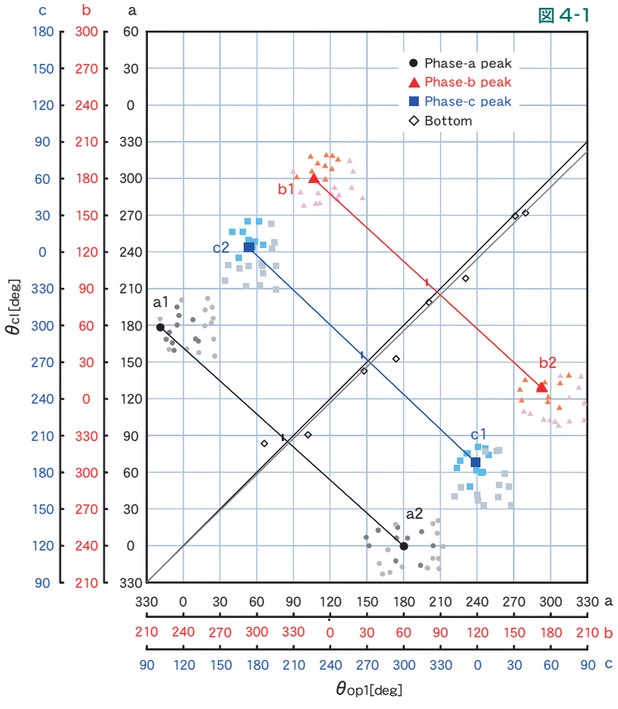
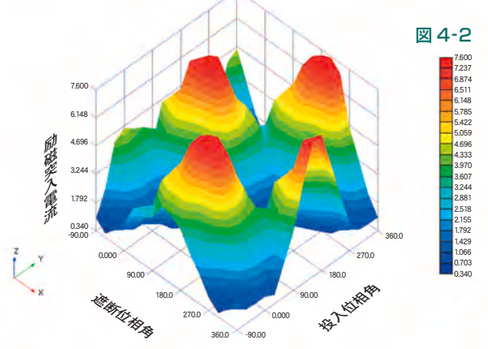


図 4-2

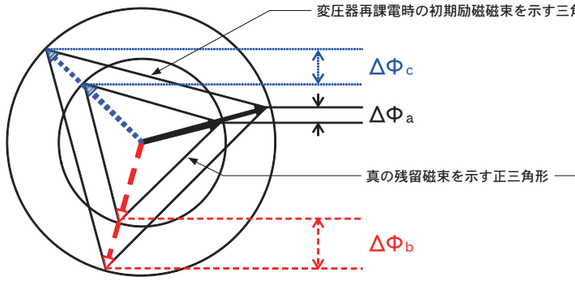


前述の理論並びに実験結果を踏まえ、弊社の励磁突入電流抑制装置は変圧器解列直後の過渡現象時間帯終息時点の鉄心磁束を真の残留磁束値として演算記憶し、変圧器再課電時の遮断器投入位相角制御の基準としております。

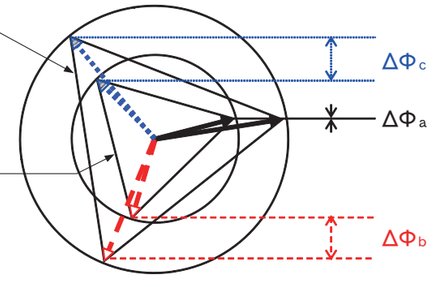
図4-3、4-4に変圧器再課電時の遮断器投入位相角タイミングを真の残留磁束値の位相角タイミングに一致させるための効果的なアルゴリズムを可視化した概念を示します。

（特許第5343118号）

位相角一致制御　図 4-3



残留磁束最小相スカラー値一致制御　図 4-4



Inrush-Limiter T1

変圧器励磁突入電流抑制装置

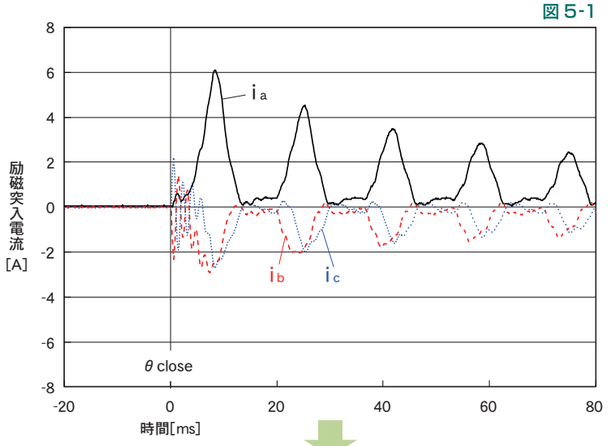
Inrush-Limiter による励磁突入電流抑制の効果

図5-1および図5-2は、弊社の励磁突入電流抑制装置（商品名'Inrush-Limiter'）により遮断器投入位相角タイミングを変えて弊社模擬送電設備を用いた多数回実験を行い、励磁突入電流抑制を行わない場合と、行った場合の励磁突入電流の大きさを比較するものです。

〔励磁突入電流抑制を行わない場合〕

図5-1は励磁突入電流抑制を行わず、残留磁束位相角に対して遮断器投入位相角タイミングが逆相（ほぼ180度の位相差）で遮断器の投入を行った結果であり、a相の励磁突入電流（i_a）が大きな値を示していることがわかります。

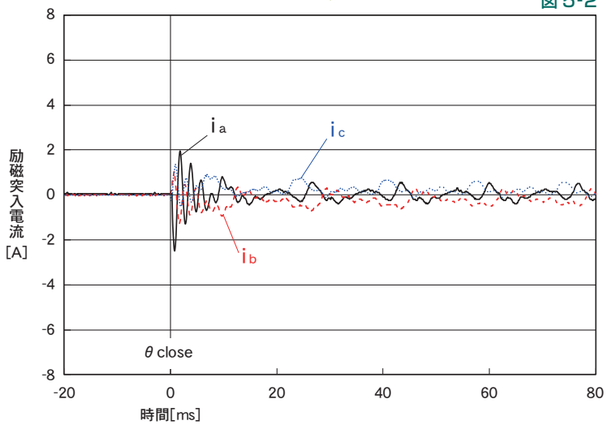
図 5-1



〔励磁突入電流抑制を行った場合〕

図5-2は励磁突入電流抑制を目的に残留磁束位相角に対して遮断器投入位相角タイミングをInrush-Limiterにより最適位相角制御をして遮断器の投入を行った結果であり、励磁突入電流は各相とも極少に抑制されていることがわかります。

図 5-2

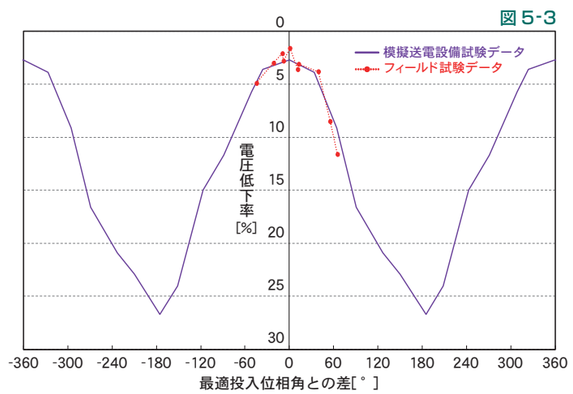


投入位相角と電圧低下率

図5-3は弊社模擬送電設備を用いて遮断器の最適投入位相角を基準に、投入位相角の差（横軸）をパラメータとして励磁突入電流現象によって発生する電圧低下率（縦軸）を多数回実験により求めた結果をグラフ化したものです。横軸の0度付近は遮断器投入位相角が理論上の最適投入位相角とほぼ一致しているケースであり電圧低下率は最小値を示しています。Inrush-Limiterは、実用上 ±20度以内の位相角差になるように制御することが可能であり、励磁突入電流と電圧低下率を理想的に抑制できます。

なお、図中に赤色で示すプロットは、某メーカーの工場受電設備にて遮断器投入位相角を変えて試験を行った結果であり、フィールド試験が弊社模擬送電設備による多数回実験結果を裏打ちするものとなりました。

図 5-3



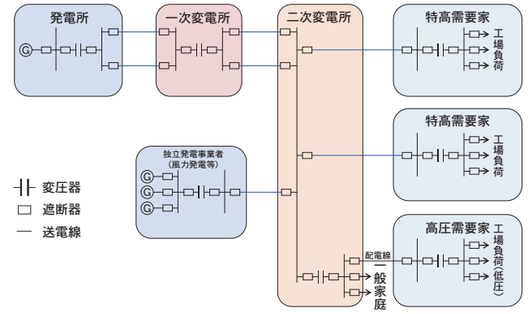
Inrush-Limiterの適用

適用受変電設備

Inrush-Limiterは、66～500kV 級の送変電系設備および6.6kVの配電系設備のいずれにもご採用いただけます。適用は電気事業者、あるいは需要家（公共施設・工場・大型ビル施設・一般需要家など）の受変電設備にて変圧器励磁突入電流抑制に広くご利用いただくことで、励磁突入電流および電圧低下率の抑制に大きい効果を発揮いたします。

※図中の各変圧器に対応

図 6-1



インターフェース

入出力インターフェースは次のような信号を扱います。

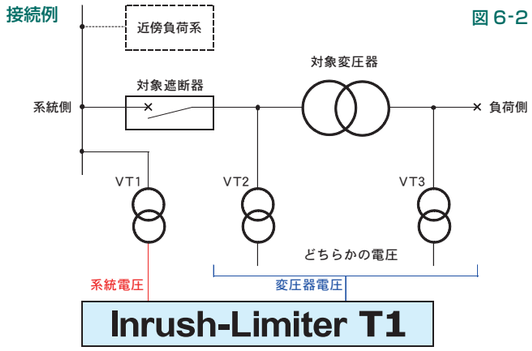
入力：系統電圧 VT1の２次側三相電圧、
変圧器電圧 VT2またはVT3の２次側三相電圧
遮断器“入／切”及び状態信号
※CT入力は不要です。

出力：遮断器投入指令、警報

変圧器容量、結線方式等による適用上の制約はありません。

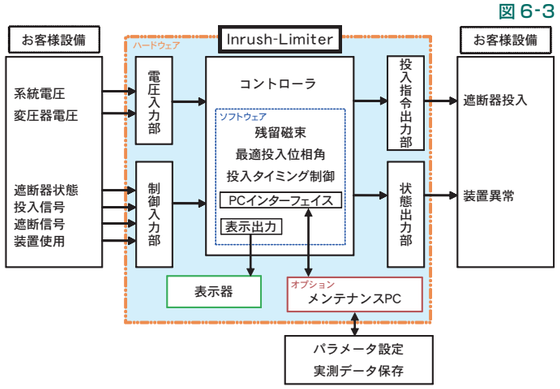
接続例

図 6-2



システム構成

図 6-3



※本装置は変電所制御盤で行われる変圧器バンク用遮断器の手動投入指令信号を受けてその投入位相タイミングを制御いたします。いかなる場合においても手動開閉操作を阻害することはありません。

各部の機能　表 6-1

名　称	機　能
電圧入力部	VT(計器用変成器)を経由して入力した系統側電圧や変圧器側電圧をInrush-Limiterへ取り込む電圧レベルに変換します。(AC110V→AC5V)
制御入力部	VT電圧と入力信号を受け、Inrush-Limiterへの制御信号として指令を入力します。
コントローラ	各種演算と履歴管理を行います。 表示器への出力管理とメンテナンスPCとのインターフェース機能を有します。
投入指令出力部	Inrush-Limiterから遮断器を投入する指令信号を出力します。
状態出力部	Inrush-Limiterの状態を示す信号をお客様設備へ出力します。
PCインターフェース	演算部と調整・メンテナンス作業用のパソコンをLAN接続します。

※主制御盤とのインターフェースは図8-1をご参照ください。

Inrush-Limiter T1

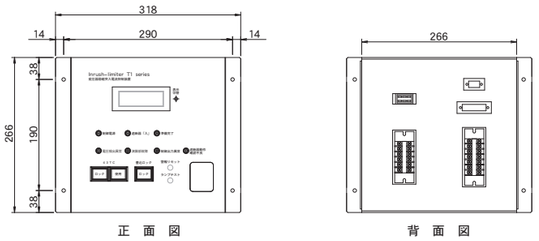
変圧器励磁突入電流抑制装置

仕様

本体

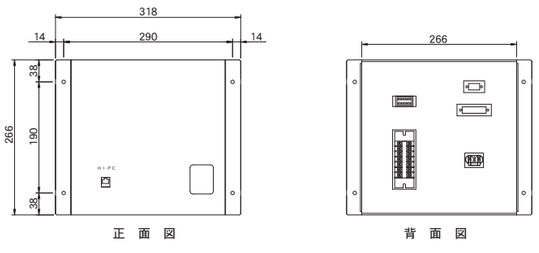
本体は1バンクに対して2箱構成のユニットタイプの製品に仕上げました。

操作ユニット
図 7-1



正 面 図　　背 面 図

制御ユニット
図 7-2

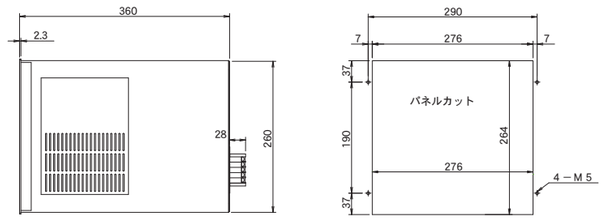


正 面 図　　背 面 図

■操作ユニットは、正面パネルに次の操作・表示機器を配置し、シンプルで操作性を考慮したデザインとしています。
＊データ表示用液晶ディスプレイ
＊状態・警報表示 LED
＊装置切換えスイッチ(使用／ロック)
＊書込ロックスイッチ
＊警報リセットスイッチ
■背面にはお客様設備との入出力端子台を設けています。

■制御ユニットは、制御中枢であるコントローラを内蔵しています。正面パネルにはコントローラの設定・保守を行う通信ポートを配置しています。
■背面には電源コネクタ、制御電源スイッチ、およびお客様設備との入出力端子台を設けています。

取付寸法
(両ユニット共通)
図 7-3



右側面図

取付寸法

■ユニットの設置は、パネルカットを施し、M5,4本のネジで固定します。
■ユニットの背面には配線、保守スペースを確保してください。

一般仕様

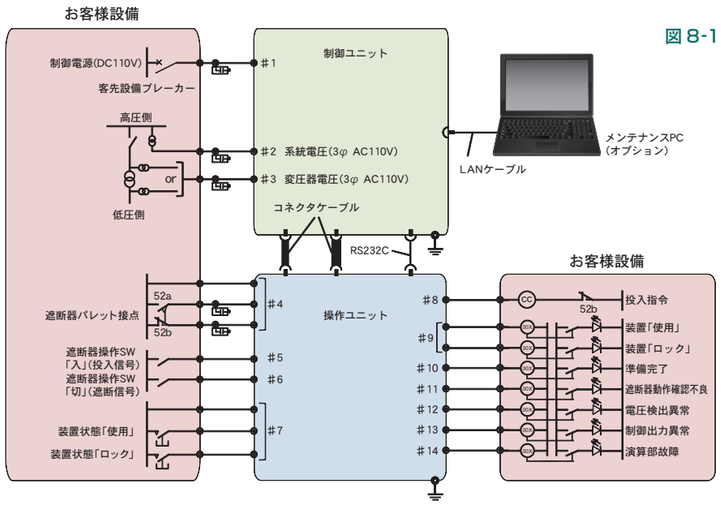
表 7-1

ユニット名 / 項目	操作ユニット	制御ユニット
品番	IL-OU100	IL-CU100
取付方式	ラックまたはパネルマウント	
外形寸法 W×H×D[mm]	318×266×360 (操作ユニット、制御ユニット共、同寸法。端子台等の突起寸法は含まない。)	
塗装色	黒(マンセル値N1.5)	
質量[kg]	12	12
電源電圧	制御ユニットからの電源供給	DC110V(90～120V),40W
表示器	LCD パネル 20文字 x4行表示バックライト付き	
通信機能		メンテナンス PC 接続用 Ethernet 100Base-T 以上
冷却方式	自然空冷	
使用周囲温度・湿度	0～+50℃(氷結しないこと), 20～90%RH(結露しないこと)	
使用雰囲気	有害な煙やガス、塩分を含むガス、水滴または蒸気、過度な塵埃・微粉、爆発性のガス、過度な振動・衝撃、熱の対流を妨げるような遮蔽物、等がないこと	
耐電圧	AC2000V 1分間 (入力端子一括対地間)	
その他・サービス	・導入コンサルタント・お客様指定仕様盤製作・工場立会検査・機器据付・接続工事 ・現地調整・保守点検・保守メンテナンス用 PC	

接続仕様

Inrush-Limiter とお客様設備との接続の概要を下図に示します。

図 8-1



お客様設備との接続
お客様設備の変電所主制御盤との入出力信号を配線していただきます。

ユニット間の接続
操作ユニットと制御ユニット間の接続は、付属の専用ケーブルをご利用いただきます。

メンテナンスPCとの接続
制御ユニット正面の通信ポートにLANケーブルを接続していただきます。
なお、装置の初期設定には専用のツールソフトをご使用いただきます。

入出力仕様

入出力信号の概要仕様を下表に示します。

表 8-1

#	名　称	区　分	内　容	電気仕様
1	制御電源	電源	お客様設備から本装置へ制御電源を供給します。	DC110V, 40W
2	系統電圧	アナログ入力	遮断器1次側の計器用変圧器2次電圧を入力します。	3相各線間電圧 AC110V, 負担 0.1VA
3	変圧器電圧		遮断器2次側(変圧器1次もしくは2次)の計器用変圧器2次電圧を入力します。	
4	遮断器パレット接点	デジタル入力	制御する遮断器の補助接点信号を入力します。	無電圧接点、1a1b
5	投入信号		お客様設備より遮断器投入操作によって入力される投入信号です。	DC110V
6	遮断信号		お客様設備より遮断器遮断操作によって入力される遮断信号です。	
7	43TC(使用/ロック)		本装置の制御を有効(位相角判断をする)信号、無効(位相角判断をしない)信号を入力します。	無電圧接点、1a
8	投入指令	デジタル出力	遮断器を投入する信号を出力します。	DC110V
9	43TC(使用/ロック)		本装置が「使用」と「ロック」のどちらの状態であるかを出力します。	無電圧接点、1a 接点定格 DC30V,2A
10	準備完了		本装置の操作が行える状態である場合(準備完了)に出力します。	
11	遮断器動作確認不良		制御する遮断器の補助接点信号のアンサーが無い場合に出力します。	
12	電圧検出異常		系統電圧と変圧器電圧に異常を検出した場合に出力します。	
13	制御出力異常		遮断器を投入する制御出力に異常を検出した場合に出力します。	
14	演算部故障		演算部内部で異常が発生した場合に出力します。	

※信号のタイミングなどの詳細は取扱説明書をご覧ください。

Inrush-Limiter T1

変圧器励磁突入電流抑制装置

設置形態

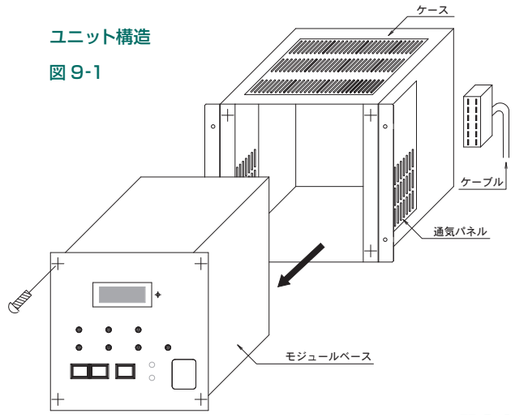
装置本体はユニット構造としておりますので制御盤からの着脱等が可能です。したがって装置の設置形態としては変電所主制御盤組み込み設置と自立型設置タイプのいずれにも対応可能です。

なお弊社はユニット単体での納入、自立盤組み込みでの納入のいずれにも対応しております。

■ユニットの構造はケース（外側筐体）とモジュールベース（中身）から構成されており、モジュールベースはケースから引き出すことができます。
■ユニット間は専用ケーブルによるコネクタ接続、およびお客様設備との入出力信号は端子台配線となっています。
■コネクタ、端子台をモジュールベース背面に配置し、端子台は抜き差し可能なコネクタ式端子台を採用しています。
■モジュールベースの引き出しは、コネクタ部を外し、正面パネルの４箇所のネジを外すだけで簡単に行えます。

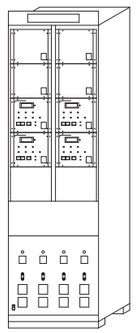
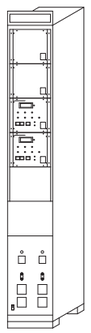
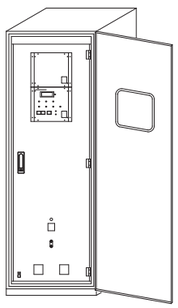
ユニット構造

図 9-1



自立形筐体

表 9-1

タイプ	４バンクタイプ	２バンクタイプ	正面扉タイプ	カスタムメイドタイプ
品　番	IL-EC04-4	IL-EC02-2	IL-EC01-1	IL-ECX-＊
機種外観				※お客様設備の仕様に合わせたオーダーメイドの筐体も製作します。
仕　様	●最大４バンク実装用筐体 ●700(W)×2,300(H)×450(D)[mm] （架台、盤名プレートは除く）	●最大２バンク実装用筐体 ●350(W)×2,300(H)×450(D)[mm] （架台、盤名プレートは除く）	●1 バンク実装用筐体 ●700(W)×2,000(H)×600(D)[mm] （架台、盤名プレートは除く）	

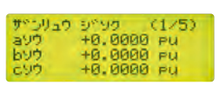
HMI

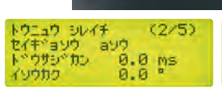
Inrush-Limiterの操作や設定に関する情報を分かり易く伝えるHMI(Human Machine Interface)を用意しました。運転時は操作ユニットの「液晶パネル」を、調整やメンテナンス時はPCにインストールして使用する「ツールソフトウエア」をご利用ください。

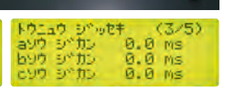
液晶パネル

操作ユニット正面に取付けの液晶表示器によって、変圧器解列時の残留磁束値や次回課電時の最適投入タイミング、及び投入実績などの情報を確認できます。

図 9-2







ツールソフトウエア

付属のパソコンソフトにより以下の操作・設定ができます。

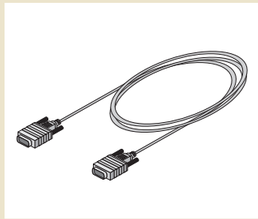
○パラメータ設定
○抑制効果確認（グラフ表示）
○運転履歴レポート
○手動制御操作

図 9-3

付属品

Inrush-Limiterの盤実装・配線・試運転・点検に便利な各種付属品を準備しております。

ユニット間接続ケーブル



ユニット納品時に接続用のケーブル（標準長さ0.5m）を付属します。ご指定の長さのケーブルも製作いたします。

ツールソフトウエア

パラメータ設定や運転履歴管理、メンテナンス作業を行うための専用ソフトウエアをCDにてご提供いたします。

メンテナンスPC【別売品】

パラメータ設定や運転履歴管理、メンテナンス作業を行うための専用のツールソフトを搭載したパソコンです。
通信用LANケーブルも付属します。

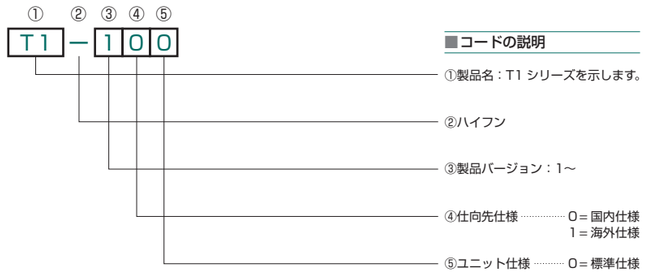
サービス

お客様のご要望に応じてお客様設備の励磁突入電流評価段階からアフターサービスまで次のようなサービスを幅広くご提供いたします。

○導入コンサルティング
○装置製造・販売
○設置工事・現地調整
○定期点検・再調整・故障修理

製品コード

Inrush-Limiterの製品コードは次のように示します。



注）仕様の詳細は、お打合せの際に弊社が提出する「納入仕様書」をご覧ください。
製品を示す画像はイメージです。実際とは異なる場合があります。

ご採用にあたって

本製品のご採用にあたっては、次のようにプロセスを進めていただきます。

導入評価
お客様設備の励磁突入電流現象を把握し、装置導入の評価をします。

仕様確認
設置環境、信号の扱いなど装置の仕様について確認します。

製作・納入
弊社はお客様ご要求の仕様に応じた装置の製作・納入をします。

設置・試験
装置の据え付け工事、パラメータ設定、調整・試運転を行います。

運転・保守
装置運転、定期点検、および必要に応じた保守作業を行います。

ご不明な点は、弊社 営業部までお問い合わせください。☎0982-20-7007